

**А. В. Богдан**

**ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет»  
(г. Краснодар, Россия)**

**А. А. Гучемуков**

**ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет»  
(г. Краснодар, Россия)**

## **ВЫПОЛНЕНИЕ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ ДЛЯ БОЛЬШИХ ТОКОВ ОДНОФАЗНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ**

Устройство защитного отключения (УЗО), управляемое дифференциальным (остаточным) током, имеет ряд предпочтительных значений номинального отключающего тока  $I_{\Delta n}$ , максимальный из которых составляет 20 А. Однако в основном выпускаются устройства с током до 0.5 А, так как именно УЗО с малыми номинальными токами (0.3-0.5А) рекомендуется устанавливать для противопожарной безопасности и предотвращения хищений электроэнергии. Номинальный ток, включаемых последовательно с УЗО, автоматических выключателей обычно не менее 16-25 А. Отключение таких выключателей с малой выдержкой времени будет происходить лишь при токах повреждения 50-100 А. Таким образом большой диапазон токов однофазных повреждений от 0.5 до 50-100 А оказывается вне пределов действия селективных выключателей. УЗО с  $I_{\Delta n} < 0.5$  А будут срабатывать, но выполнить селективное построение защит при их последовательном включении невозможно[1].

Поэтому выполнение устройств защиты на принципе УЗО, но действующих при токах в несколько десятков и сотен ампер, представляет достаточно актуальную задачу. Техническая реализация дифференциального трансформатора с большим коэффициентом трансформации требует выполнения вторичной обмотки с числом витков порядка 1000 и более. Конструктивно это приводит к необходимости размещения на тороидальном магнитопроводе сравнительно небольших размеров, больших вторичной и первичной обмоток с необходимой по условиям работы изоляцией.

Предлагается унифицировать выполнение защитных устройств, приняв за основу УЗО с  $I_{\Delta n} = 0.5$  А, а для увеличения первичного тока срабатывания и изменения уставки использовать отдельный дифференциальный трансформатор. Преобразовательная часть устройства защиты на большие токи состоит из двух последовательно включенных трансформаторов, первый из которых выполняет функцию дифференциального. Вторичная обмотка дифференциального, или первичная промежуточного трансформатора, выполняется с ответвлениями для ступенчатого переключения уставки срабатывания. Такое соединение позволяет значительно уменьшить число витков вторичных обмоток трансформаторов, так как результирующий коэффициент трансформации

$$k_{\Sigma} = k_1 k_2,$$

где  $k_1$  и  $k_2$  - коэффициенты трансформации дифференциального и промежуточного трансформаторов.

Исследование поведения предложенной системы проведен методом математического моделирования. Расчет токов трансформатора можно проводить по [2], так как трансформаторы тока имеют магнитопроводы выполненные из высококачественного пермаллоя или аморфной стали, имеющих характеристику намагничивания близкую к идеальной прямоугольной. Нагрузка, в виде исполнительного органа, присоединена через последовательное соединение двух трансформаторов тока, в котором промежуточный трансформатор является существенно нелинейной нагрузкой для дифференциального, причем последний не является источником бесконечной мощности. Устройство защиты имело дифференциальный трансформатор и подключенный трансформатор одного размера с магнитопроводами из одинакового материала.

При моделировании рассмотрено два алгоритма расчета. Первый состоит в том, что расчет вторичных токов трансформаторов проводится последовательно. На шаге интегрирования сначала рассчитывается вторичный ток отдельного дифференциального трансформатора [3], при условии неизменного потокосцепления подключенного трансформатора, а затем рассчитывается вторичный ток подключенного трансформатора при условии, что вторичный ток дифференциального трансформатора не изменяется.

Анализ результатов вычислений показывает, что данный метод может быть применен, если соотношение потокосцеплений на шаге интегрирования для подключенного и дифференциального трансформаторов не превышает определенной величины. Установлено, что границей применимости метода является условие

$$\frac{\Delta \Psi_1}{\Delta \Psi_2} = 0.1 \div 0.2$$

где  $\Delta \Psi_1$  и  $\Delta \Psi_2$  - максимальное приращение потокосцеплений соединенных обмоток трансформаторов на шаге интегрирования.

В случае невыполнения условия возможно получение неверного колебательно-го решения, хотя точность вычисления обоих токов трансформаторов на шаге интегрирования контролируется.

Второй алгоритм предполагает применение метода спуска одновременно для обоих вторичных токов, которые в этом случае принимаются за базовые переменные. Задача отыскания решения системы уравнений сводится к поиску минимума функции нескольких переменных, так как в процессе коррекции минимизируется значение текущей разности базовых переменных на шаге.

При таком подходе к задаче первый алгоритм представляет спуск по координатам, которыми являются вторичные токи, а второй алгоритм является спуском имеющим некоторые характеристики градиентного. Процесс поиска минимума продолжается до одновременного выполнения условий

Как показали расчеты, минимизируемая функция имеет овражный характер. Это свойство приводит к значительному замедлению решения, либо к заикливанию из-за невозможности выполнения условий точности. Для получения решения применялось ограничение допустимого числа коррекций с восстановлением исходной величины корректирующей поправки.

Расчеты показывают, что оба метода дают примерно одинаковую погрешность расчета, причем второй имеет скорость решения на 50-60% меньше. Однако отсутствие возможности получения неверного решения обусловило дальнейшее применение второго алгоритма для анализа поведения устройства защиты.

Феррорезонанс, необходимый для срабатывания исполнительного органа, возникает при первичном токе 25-50 А. Меняя число вторичных витков дифференциального трансформатора можно изменить уставку срабатывания УЗО в целом, не изменяя настройки ИО и феррорезонансной цепи.

Таким образом возможно создание серии защитных аппаратов с временем действия 0.02-0.05с для построения селективных защит при однофазных повреждениях.

#### Список использованных источников

- 1 Богдан А.В., Клецель М.Я., Никитин К.И. Адаптивная резервная токовая защита типовых линий с ответвлениями // Электричество.-1991.- № 2,- С.51-54.
- 2 Богдан А.В. Переходный ток идеализированного трансформатора тока/ А.В. Богдан, //Изв. вузов СССР.Электромеханика.-1972.-№ 5.- С.497-502.
- 3 Богдан А.В. Подгорный Э.В. Золоев Б.П.Сравнение численных методов расчета переходных токов трансформаторов тока на ЦВМ/ А.В. Богдан, Э.В. Подгорный, Б.П.Золоев // Изв. вузов СССР.Электромеханика.-1974.-№ 2.- С.163-172.